

Wind turbine

Patent Number: ☐ US3918839
Publication date: 1975-11-11
Inventor(s): BLACKWELL BENNIE F; FELTZ LOUIS V; MAYDEW RANDALL C
Applicant(s): US ENERGY
Requested Patent: ☐ DE2540757
Application Number: US19740508016 19740920
Priority Number (s): US19740508016 19740920
IPC Classification: F03D3/02
EC Classification: F03D3/06D, F03D3/06E4
Equivalents: AU8502675, ☐ BE833581, CA1042347, ☐ ES439834, ☐ FR2285527,
☐ IT1049691, ☐ JP51066951, ☐ NL7508723, NO753023, ☐ SE7509005

Abstract

A wind turbine rotatable about a shaft may include a drive rotor with one or more elongated blades each having a central outwardly curved portion of airfoil shape which produces rotary motion when the blade rotates in wind at a blade tip velocity to wind velocity ratio greater than about three or four, additional wind rotor means disposed at both ends of the curved portions of the elongated blade for rotatably accelerating the drive rotor to the desired velocity ratio, and means coupled to said rotors for utilizing the rotation thereof.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

51

Int. Cl. 2:

F03D 3/00

19

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

Benordnungsamt

DT 25 40 757 A1

11

Offenlegungsschrift 25 40 757

21

Aktenzeichen:

P 25 40 757.2

22

Anmeldetag:

12. 9. 75

43

Offenlegungstag:

8. 4. 76

30

Unionspriorität:

32 33 31

20. 9. 74 USA 508016

54

Bezeichnung:

Windturbine

71

Anmelder:

U.S. Energy Research and Development Administration, Washington, D.C.

74

Vertreter:

Wagner, K.H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000 München

72

Erfinder:

Blackwell, Bennie Francis; Feltz, Louis Victor; Maydew, Randall Clinton; Albuquerque, N.Mex. (V.St.A.)

DT 25 40 757 A1

PATENTANWALT
DIPL.-ING. KARL H. WAGNER

6 MÜNCHEN 22, ST. ANNA-PLATZ 6
TELEFON 298527
TELEGRAMMADRESSE: 2540757
PATLAW MÜNCHEN

R-508,016

SEP 12 1975

United States Energy Research And Development Administration,
Washington, D.C. 20545, U.S.A.

Windturbine

Wind ist bekanntlich eine der ersten natürlichen Energiequellen, die durch den Menschen ausgenutzt wurden, und zwar unter Verwendung verschiedener durch Windmühlen angetriebener Vorrichtungen. Die Verwendung von Windmühlen ist jedoch sehr stark nach Entwicklung der Dampfmaschine, des Verbrennungsmotors und anderer durch Kohle und Erdöl betriebener Umwandlungsmaschinen zurückgegangen. Durch die in letzter Zeit stark ansteigenden Kosten für fossile Brennstoffe und andere Energiequellen hat sich das Interesse an der Ausnutzung des Windes als konkurrenzfähige Energiequelle erhöht.

Es wurde beispielsweise geschätzt, daß mehr als 10^{12} Killwattstunden an Elektrizität allein in den U.S.A. an geeigneten Stellen erzeugt werden könnten, wobei die verfügbare Energie

609815/0367

proportional zur Luftdichte und Windgeschwindigkeit ist, und wobei die letztgenannte Größe die Energie in der dritten Potenz beeinflusst. Da die im Wind verfügbare Energie, verglichen mit den Energiebedürfnissen der Welt, signifikant sein kann, werden durch Wind angetriebene Leistungsquellen zunehmend wichtig, insbesondere dann, wenn die Stelle, wo die Energie erforderlich ist, von anderen Energiequellen weit weg liegt oder aber wenn andere Energiequellen teuren Brennstoff zur Leistungserzeugung benötigen.

Es wurden bereits verschiedene durch Wind betriebene Maschinen oder Turbinen vorgeschlagen oder verwendet, wie beispielsweise die wohlbekannten, eine Horizontalachse aufweisenden Windmühlen. Diese Windmühlen verwendeten verschiedene Konstruktionen und Anordnungen der Rotoren, welche Rotorspitzen- zu-Windgeschwindigkeits-Verhältnisse bis hinauf zu 6 zu 1 erreichten. Wegen der den eine horizontale Achse verwendenden Windmühle innewohnenden Beschränkungen - die Windmühlen machen es erforderlich, daß der Rotor in einer speziellen Richtung bezüglich der Windrichtung, die sich natürlich ändert, ausgerichtet wird - verwenden diese Windmühlen oftmals komplizierte Windmühlendrehantriebsvorrichtungen, um die richtige Windmühlenrotorlage oder Richtung bezüglich der Windrichtung aufrechtzuerhalten. Diese Vorrichtungen sind nicht nur kompliziert, sondern sie müssen auch an der Windmühle benachbart zur Rotorachse angeordnet werden und sie liegen somit hoch oberhalb des Erdniveaus, d.h. mindestens so hoch wie der Radius des Rotors. Dies erhöht die Kompliziertheit, die Kosten und das Gewicht der Tragtürme und die anderen Vorrichtungen des gesamten Windmühlensystems.

Es wurden bereits eine Vertikalachse aufweisende Windturbinen vorgeschlagen und zur Überwindung dieser Nachteile untersucht. Die meisten eine vertikale Achse aufweisenden Windturbinen

besitzen jedoch sehr geringe Verhältnisse aus Rotorspitzen-
geschwindigkeit zu Windgeschwindigkeit und sind demgemäß mit
einem geringen Wirkungsgrad behaftet oder sie machen eine
zusätzliche Leistungsquelle erforderlich, um den Rotor auf
eine Geschwindigkeit zu beschleunigen, bei der der Rotor
ein positives Drehmoment erzeugen kann. Zudem haben einige
der Vertikalachsen-Windturbinen ziemlich komplizierte und
teure Rotorflügelkonstruktionen verwendet oder waren für
praktische Anwendungen relativ schwach. Obwohl Windturbinen
mit Vertikalachse oftmals zum Betrieb bei aus irgendeiner
Richtung kommendem Wind geeignet sind und mit einer Leistungs-
erzeugungsvorrichtung und einem Turmgebilde zusammenarbeiten,
die verhältnismäßig einfach aufgebaut sind, wurden die Verti-
kalachsen-Windturbinen nicht weiterentwickelt oder im großen
Umfang verwendet.

Die vorliegende Erfindung hat sich zum Ziel gesetzt, eine
im Aufbau verhältnismäßig einfache und geringe Kosten ver-
ursachende Windturbinenvorrichtung vorzusehen. Die erfindungs-
gemäße Vertikalachsen-Windturbine soll selbststartend sein
und soll in der Lage sein, ein verhältnismäßig großes Ver-
hältnis aus Flügelspitzen-~~geschwindigkeit~~ zu Windgeschwindig-
keit zu erzeugen. Die erfindungsgemäße Windturbine verwendet
dabei eine neuartige Rotorflügelform, wobei sich ein hoher
Wirkungsgrad ergibt.

Die erfindungsgemäße Windturbine verwendet einen Antriebs-
rotor, der einen nach aussen gekrümmten, entsprechend der
Luftströmung geformten Flügel aufweist, der sich zwischen
Endteilen einer drehbaren Welle erstreckt, und wobei zu-
sätzliche Rotororgane an den beiden Endteilen der Welle
und außer Ausrichtung mit den Drehmoment erzeugenden Teilen
des Antriebsrotors angeordnet sind, um die gesamte Rotor-
anordnung auf eine Drehzahl zu bringen, bei welcher der
Antriebsrotor eine Drehantriebskraft auf die Welle auf-
rechterhalten kann und die sodann bei höheren Geschwindig-
keiten weiterhin eine Antriebskraft beiträgt.

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich insbesondere aus den Ansprüchen.

Weitere Vorteile, Ziele und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen an Hand der Zeichnung; in der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine etwas vereinfachte perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Windturbinenanordnung, wobei die Relativstellungen der Rotorelemente dargestellt sind;

Fig. 2 schematisch die bevorzugte Form der Flügel im Hauptantriebsrotor der Windturbine;

Fig. 3 schematisch einen Vergleich der erfindungsgemäßen Flügelform mit anderen möglichen Flügelkrümmungen;

Fig. 4 eine Querschnitt durch den gemäß der Luftströmung ausgebildeten Teil des Flügels gemäß Fig. 2;

Fig. 5 eine graphische Darstellung des Wirkungsgrades abhängig von den Geschwindigkeitsverhältnissen für die entsprechenden Rotorteile der erfindungsgemäßen Windturbine;

Fig. 6a und 6b den Querschnitt verschiedener Formen, welche die geraden Segmente für die in den Fig. 1 und 2 gezeigten Flügel haben können;

Fig. 7 schematisch in Schnittdraufsicht die Positionen der Flügelschaufeln des Starterrotors, der zusammen mit der Windturbinenanordnung gemäß Fig. 1 verwendet wird;

Fig. 8 eine perspektivische Ansicht einer weiteren Starterrotoranordnung, die zusammen mit der Turbine gemäß Fig. 1 verwendet werden kann;

Fig. 9 schematisch eine Abwandlung des Antriebsrotorflügels und der Flüglform;

Fig. 10a und 10b weitere Abwandlungen des Antriebsrotorflügels zur wirkungsvollen Erhöhung des Seitenverhältnisses des Rotorflügels;

Fig. 11 eine abgewandelte Ausbildung der Windturbine, welche eine Vertikalstapelanordnung der Antriebsrotoren verwendet;

Fig. 12 eine vereinfachte schematische Ansicht einer Anordnung der Antriebsrotorflügel, in denen die Flügelsegmente zusammengeklappt werden können, um das Windprofil der Turbine zu vermindern.

Die erfindungsgemäße Windturbine weist einen durch den Wind angetriebenen Hauptleistungs- oder Antriebsrotor 10 sowie ein Paar von windangetriebenen Starterrotoren 14 und 16 auf, die mit einer drehbaren Welle 12 gekuppelt sind, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Vorzugsweise ist die Windturbine in der gezeigten Vertikalstellung angeordnet, so daß jeder Wind unabhängig von seiner Richtung stets eine Verdrehung der Windturbinenflügel bewirkt, ohne daß eine Einstellung der Turbinenachse notwendig wird. Ein jeder der Rotoren 10, 14 und 16 ist an der Welle 12 befestigt, so daß diese sich miteinander bezüglich einer festen Plattform oder eines Turms 18 drehen, wobei die Welle 12 in der gewünschten Vertikalstellung gehalten wird. Die Welle 12 kann drehbar an Plattform 18 durch geeignete Drehlager und dgl. gehalten sein und sie kann durch geeignete Abspannungen oder andere Halterungen 19 von oberen Teilen der Welle her, wenn dies erwünscht ist, stabilisiert werden, und zwar abhängig von der Größe der Windturbine und den Windgeschwindigkeiten, bei denen diese Turbine betrieben werden soll. Zudem kann die Welle 12 und infolgedessen die Rotoren 10, 14 und 16

direkt od r über ein geeignetes Antriebssystem, wie b i-
spielsweise durch Zahnräder 20 und 22 dargestellt, mit
einem geeigneten Verbraucher 24 gekuppelt sein, der
die durch Drehung der Welle 12 erzeugte Energie umwandelt oder
in anderer Weise verwendet. Der Verbraucher 24 kann irgend-
eine geeignete Vorrichtung sein, welche die Drehbewegung
der Windturbine in Elektrizität oder irgendeine andere
Energieform umwandelt; der Verbraucher kann beispielsweise
ein Synchrongenerator oder ein anderer Generator sein oder
aber der Verbraucher kann irgendeinen anderen Arbeitsvor-
gang oder eine Funktion erfüllen, beispielsweise kann der
Verbraucher eine Flüssigkeit aus einer Quelle pumpen oder
andere Vorrichtungen antreiben.

Der Hauptantriebsrotor oder Leistungsrotor 10 umfaßt eine
oder mehrere im ganzen vertikal angeordnete längliche Flügel,
wie beispielsweise die dargestellten drei Flügel 26a, 26b
und 26c, wobei diese Flügel mit ihren Enden durch einen ge-
eigneten Kragen oder eine andere Halterung an der Welle 12
befestigt oder mit dieser gekuppelt sind. Der Flügel oder
die Flügel kann oder können um die Welle 12 herum derart
angeordnet sein, daß sie sich miteinander im Gleichgewicht
befinden oder aber es können geeignete Gegengewichte oder
dgl. vorgesehen sein, um dieses Gleichgewicht zu erzielen.
Jeder Flügel, wie bei Flügel 26a angedeutet, kann einen
mittig angeordneten, sich nach aussen krümmenden bogen-
förmigen Teil 28 aufweisen, der über ein geradliniges
Segment 30 mit einem oberen Teil der Welle 12 verbunden
ist und der über ein anderes geradliniges Segment 32 mit
einem unteren Teil der Welle 12 verbunden ist. Es können
mehr oder weniger Flügel als die drei dargestellten Flügel
im Rotor 10 verwendet werden, wobei aber mit einer ge-
wissen Absenkung des Wirkungsgrads und/oder des Anstiegs
der Kosten der Wirkungsgrad des Antriebsrotors 10 eine
Funktion des Verhältnisses von Flügelfläche zu Flügeldurch-
streichfläche ist. Die Welle 12 kann eine einzige solide
oder hohle Stange, konzentrische Stangen drehbar bezüglich

einander oder ein gitterartiges oder mit Gestänge verstärktes Gebilde sein, und zwar abhängig von der erforderlichen Festigkeit und Größe und der zur Halterung verwendeten Vorrichtung.

Es wurde festgestellt, daß dann, wenn ein vollkommen flexibles Kabel von gleichförmiger Dichte und Querschnitt an seinen Enden an zwei Punkten einer Vertikalachse befestigt wird und sodann mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit um die Vertikalachse in Drehungen versetzt wird, dieses Kabel die durch die gestrichelte Linie 34 in Fig. 2 angedeutete Krümmung einnimmt, eine Krümmung, die im Folgenden als die Troposkienform bezeichnet wird, und zwar unabhängig von der Winkelgeschwindigkeit. Wenn das Kabel diese Form einnimmt und um die Vertikalachse gedreht wird, so sind die im Kabel erzeugten Belastungen im wesentlichen Zugbelastungen. Es wurde ferner erkannt, daß für die Zwecke dieser Erfindung die Troposkienform durch einen kreisförmigen Bogen 34a am äußersten Teil der Troposkienform und ein Paar von geraden Segmenten 34b und 34c verbunden zwischen den Enden des Kreisbogens 34a und der Drehachse angenähert werden kann. Bei dieser Annäherung ist das Kabel noch immer im wesentlichen Zugbelastungen und nur vernachlässigbaren Biegeansprüchen ausgesetzt. Diese Annäherung wird als die gewünschte Form für die in Fig. 1 dargestellten Flügel des Leistungsrotors 10 verwendet.

Fig. 3 veranschaulicht die Unterschiede zwischen einer troposkienförmigen Kurve 34 und einem kreisförmigen Bogen 36 sowie einer kettenlinienförmigen Kurve 38. Die kettenlinienförmige Kurve 38 nähert die Form an, welche durch ein vollkommen flexibles Kabel von gleichförmiger Dichte und Querschnitt angenommen wird, welches an zwei festen Punkten frei hängt. Ein gedrehter Flügel mit entweder Form 36 oder Form 38 erzeugt größere Biegebelastungen als die Form 34 oder

ihre Annäherung. Wie oben beschrieben, minimiert die troposkienförmige Kurve 34 die bei Drehbewegung im Vertikalflügel erzeugten Biegebeanspruchungen, während die Annäherung einer Troposkienform - wie sie durch das Kreisbogensegment 34a und die geradlinigen Segmentabschnitte 34b und 34c in Fig. 2 und den entsprechend gekrümmten Teil 28 und die geraden Segmente 30 und 32 des Flügels 26a in Fig. 1 dargestellt sind - minimale Biegebelastungen erzeugt und gleichzeitig eine Flügelform sicherstellt, die eine relativ einfache Form besitzt und mit relativ geringen Kosten hergestellt werden kann. Die gezeigte Flügelform kann so ausgewählt sein, daß eine enge Annäherung der Troposkienform erzeugt wird, um die Biegebeanspruchungen zu minimieren, und zwar durch Minimierung des maximalen Trennabstands zwischen Kurve 34 und den Annäherungssegmenten 34a, 34b und 34c oder durch andere Einstellung der Annäherungsform. Da die Rotoren 14 und 16 an einer Stelle angeordnet sind, wo sie normalerweise einen Luftstrom oder Wind stören würden, der auf die Flügel des Rotors 10 an dessen oberen und unteren Enden gerichtet ist, können die geraden Segmente 30 und 32 der Flügel des Rotors 10 als Bauglieder ausgebildet sein, die geringe oder keine aerodynamischen Anhebeeffekte oder Drehmomenterzeugungseffekte hervorrufen. Da sich ferner das durch die Flügel des Rotors 10 erzeugte Drehmoment oder die Drehkraft mit ansteigendem Flügelabstand gegenüber der Drehachse erhöht, nutzt die Verwendung des gekrümmten Teils 28 als Hauptantriebsabschnitt oder einziger Antriebsabschnitt die Windenergie wirkungsvoller aus als andere Teile des Flügels, nämlich die geradlinigen Segmente, die von Natur aus geringere Drehmomentniveaus aus der gleichen Windenergie erzeugen.

Der gekrümmte Teil 28 der Flügel 26a, 26b und 26c besitzt eine Stromlinienform oder einen Luftströmungsquerschnitt in Querrichtung zur Flügelkrümmung, und zwar auf die Drehrichtung des Rotors 10 hin, um so eine Auftriebskraft zu erzeugen, wenn sich der Rotor 10 in einem Wind dreht. Ein

typischer Querschnitt ist in Fig. 4 dargestellt, der derart ausgewählt ist, daß eine optimale Gleitzahl (Auftrieb-zu-Schleppverhältnis) erzeugt wird, auf welche Weise die Leistungserzeugungsfähigkeit erhöht wird.

Infolge der Natur des Rotors 10 und der kreisförmigen Bewegung der Flügel erfährt jeder kurvenförmige, stromlinienförmige Flügelabschnitt 28 sowohl positive als auch negative Angriffswinkel während einer Umdrehung, so daß sich kein offensichtlicher Vorteil durch Verwendung eines unsymmetrischen Stromlinienteils ergibt. Zudem erhöht sich der Auftrieb für die Stromlinienteile mit ansteigendem Angriffswinkel bis zu dem Punkt, wo sich die Strömung vom Strömungslinienteil abtrennt, wobei dieser Zustand ein Stehenbleiben verursachen kann und im allgemeinen vermieden werden soll, und wobei der maximale Antrieb größer ist für ansteigende Seitenverhältnisse (das Verhältnis der Länge des stromlinienförmigen Teils zur Sehnenlänge des stromlinienförmigen Teils). Beim Rotor 10 ist aber der am gekrümmten Teil 28 auftreffende Wind nicht einfach die absolute Windgeschwindigkeit, sondern vielmehr die absolute Windgeschwindigkeit minus-vektoriell betrachtet - die absolute Flügelgeschwindigkeit. Ferner ist bei Verdrehung des Stromlinienteils der Angriffswinkel der Winkel zwischen der relativen Windgeschwindigkeit (d.h. der scheinbaren Windrichtung) und der Sehnenlinie des stromlinienförmigen Flügels, wobei der Angriffswinkel von der Windgeschwindigkeit, der Drehflügelgeschwindigkeit und Flügelposition bezüglich der Turbine abhängt. Für eine gegebene Flügelstellung nimmt der Angriffswinkel mit einem ansteigenden Flügelgeschwindigkeits-zu-Windgeschwindigkeits-Verhältnis ab. Für ein hinreichend hohes Verhältnis wird daher das Stromlinienteil während einer Umdrehung niemals stehenbleiben, während bei niedrigen Verhältnissen das Stromlinienteil über einen beachtlichen Teil der Flügelumdrehung stehenbleiben kann. Bei hohen Verhältnissen nimmt

der Angriffswinkel ab und infolgedessen nimmt die Sehnene-komponente des Auftriebs ab. Es ergibt sich somit maximaler Rotorwirkungsgrad bei einem (Flügel) Spitzengeschwindigkeit (lineare Geschwindigkeit des Flügels bei seinem Maximaldurchmesser) zu Windgeschwindigkeitsverhältnis, wie dies durch Kurve 40 in Fig. 5 angegeben ist und durch analytische Untersuchungen und Windtunnelversuche bestimmt wurde. Es wurde festgestellt, daß die wirkungsvollsten Geschwindigkeitsverhältnisse für den erfindungsgemäßen Rotor 10 zur Erzeugung maximaler Leistung zwischen ungefähr 5 und 7 liegen und zwar typischerweise mit einem Maximum bei ungefähr 6.

Eine symmetrische Stromlinienform, die eine große Gleitzahl besitzt, kann das NACA 0012 Stromlinienteil oder Stromlinienprofil (National Advisory Committee For Aeronautics) sein. Ein derartiges Stromlinienteil oder ein ähnliches Stromlinienteil kann - wie in Fig. 4 gezeigt - mit einer hochfesten Verstärkung oder einem Zugbeanspruchungselement 42 ausgebildet sein, welches von einem starren Schaumkern 44 umgeben ist. Das Beanspruchungselement 42 kann ein aus Stahl, Aluminium oder Fasern zusammengesetztes Blatt oder ein Streifen sein und ist durch Walzen oder in anderer Weise in die gewünschte kurvenförmige Gestalt gebracht, die in Fig. 2 durch Kurve 34a veranschaulicht ist, um so als das Tragelement für den gekrümmten Teil 28 und als Verstärkungsglied zu wirken, um den Zugkräften zu widerstehen, die in dem Flügel durch die Drehung des Rotors 10 erzeugt werden. Der starre Schaumkern 44 kann aus leichten Polyurethan- oder ähnlichen Schaumkörpern ausgebildet sein, wie weiter unten beschrieben wird. Geeignete Befestigungselemente oder Halterungen, wie beispielsweise Angeln oder Stifte (nicht gezeigt), können an den Enden des Elements 42 zu diesem Zeitpunkt angebracht werden, um die Verbindung des gekrümmten Teils 28 des Flügels mit den geradlinigen Segmenten 30 und 32 zu

erleichtern. Der starre Kern 44 kann in der gewünschten Stromlinienform ausgebildet und in geeigneter Weise am Beanspruchungselement 42 befestigt werden, wie beispielsweise dadurch, daß man den Kern 44 dadurch bildet, indem man zwei getrennte starre Schaumkörperhälften aus geeigneten Schaumflügeln durch Werkzeugmaschinenbearbeitung oder dergleichen in die gewünschten komplementären Formen oder Abschnitte 44a und 44b bringt, um sodann diese Abschnitte auf einer jeden Seite des gekrümmten Beanspruchungselements 42 zu befestigen. Die Aussenoberfläche des Kerns 44 kann sodann in geeigneter Weise mit einem Überzug versehen werden, wie beispielsweise mit einer Fiberglasharzhaut 46 in einer Matten-Tuch-oder Spritz-Form, um so eine glatte und erosionsbeständige Oberfläche um den Kern 44 herum auszubilden, welche den Kern gegenüber Stößen mit Gegenständen schützt, welche der Wind mitführen kann, und auch gegenüber Regen, Hagel oder dergleichen. Die Haut 46 kann geglättet und poliert sowie weiterhin überzogen sein, um die Reibung und andere aerodynamische Verluste zu minimieren, und um die gewünschte Endform und das Ausbalancieren des Strömungslinianteils zu erreichen.

Die geradlinigen Segmente 30 und 32 der Flügel 26a, 26b und 26c können mit irgendeiner zweckmäßigen Form ausgebildet sein, welche minimalen Windwiderstand bietet und eine ausreichende Zugfestigkeit besitzt, um unter maximalen Beanspruchungsbedingungen den gekrümmten Teil 28 zu halten, wobei diese geradlinigen Segmente in geeigneter Weise an den mit dem gekrümmten Teil 28 verbundenen Befestigungselementen verbunden sind.

Beispielsweise können die geradlinigen Segmente mit einer Strömungslinienform ausgebildet sein, um bei der Erzeugung einer Antriebskraft unterstützend zu wirken oder um den Schleppwiderstand des Rotors 10 zu minimieren, und zwar geschieht dies durch Umbiegen eines Blechs in eine Strömungslinienform und durch Verschweissen der hinteren Kanten des

Blechs, wie dies durch den Querschnitt 50a in Fig. 6a des geradlinigen Segments dargestellt ist. Da jedoch diese geradlinigen Segmente infolge ihrer Stellung bezüglich der Rotor n 14 und 16 und bezüglich der Welle 12 sehr wenig Antriebskraft beisteuern können, kann es aufgrund der Wirtschaftlichkeit notwendig sein, einfache kreisförmige hohle oder massive Stäbe oder auch anders geformte Stäbe zu verwenden, wie dies in Fig. 6b durch den Querschnitt 50b veranschaulicht ist. Die geradlinigen Segmente bestehen im allgemeinen aus starren Materialien, um die Flügel dann zu tragen, wenn sich die Turbine in ihrer Ruhestellung befindet, und sie können geeignete (nicht gezeigte) Halterungen von Welle 12 aufweisen, um bei dieser Halterung zu helfen. Es kann auch Anwendungsfälle geben, wo es zweckmäßig sein würde, die Segmente 30 und 32 aus flexiblem Material, wie beispielsweise einem Stahlkabel, herzustellen, was die Annahme der Troposkienform bei Drehung der Turbine bedeuten würde. Bei diesen Anordnungen könnte noch eine weitere Halterung für die stromlinienförmigen Teile erforderlich sein, die - je nach Bedarf - vorzusehen wären, wenn sich die Turbine in Ruhestellung befindet.

Wie in Fig. 5 durch Kurve 40 veranschaulicht, muß der Rotor 10 mit einem Flügelspitzen-Geschwindigkeit-zu-Windgeschwindigkeit-Verhältnis von ungefähr 3 betrieben werden, bevor die Flügel des Rotors 10 anfangen, eine signifikante Antriebskraft zu erzeugen, die ausreicht, um den Schleppwiderstand, die Trägheit und andere Verluste zu überwinden und um die Turbine auf die Spitzenbetriebspegel zu beschleunigen. Um diese Geschwindigkeit zu erreichen, sind Starterrotoren 14 und 16 an den oberen und unteren Teilen des Rotors 10 in geeigneter Weise gehalten und mit der gemeinsamen Welle 12 ausser Ausrichtung mit den gekrümmten Teilen 28 des Antriebsrotors 10 gekuppelt. Ein besonders wirkungsvoller Starterrotor ist in Fig. 7 dargestellt, wo ein Paar von bogenförmigen oder halbkreisförmigen rechteckigen Flügeln oder Schaufeln 52 und

2540757

54 auf einer Welle 12 gehalten sind, wobei die hohlen Teile in entgegengesetzte Richtungen weisen, und wobei ein Teil jedes Flügels die Welle 12 und den anderen Flügel in einer im ganzen S-förmigen Gestalt überlappt. Mit derart angeordneten Flügeln oder Schaufeln übt der auf den hohlen Teil oder die Kammer auf der Innenseite eines der Flügel, wie beispielsweise den Teil 56 des Flügels 52, gerichtete Wind eine Antriebskraft auf den Flügel 52 in Richtung des Pfeils 58 aus und wird durch den Kanal 60 zwischen Flügel 52 und Welle 12 gegen den hohlen Teil des Flügels 54 geleitet, wo der Wind wiederum eine Antriebskraft in Richtung des Pfeils 58 erzeugt. Ein derartiger Rotor besitzt eine Wirkungsgrad-zu-Drehgeschwindigkeits-Verhältniskennlinie, wie dies durch die Kurve 62 in Fig. 5 dargestellt ist, wobei diese Kurve 5 zeigt, daß die Spitzenleistungsfähigkeit des in Fig. 7 gezeigten Rotors bei einem Verhältnis von annähernd 1 auftritt. Das Verhältnis des Durchmessers von Rotor 10 zu Rotoren 14 und 16 sollte daher von ungefähr 5 zu 6 zu 1 sein, so daß sowohl die Start- als auch die Antriebs-Rotoren mit ihrer Spitzenleistungsfähigkeit bei ungefähr den gleichen Drehgeschwindigkeiten arbeiten.

Es wurde ebenfalls festgestellt, daß die Starterrotoren 14 und 16 mit einer Höhe ausgestattet werden können, die annähernd die gleiche ist wie der Durchmesser, um die Blockierung des wirkungsvollsten Teils zu minimieren, d.h. des gekrümmten Teils 28 des Rotors 10, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist oder aber die Starterrotoren können sich vom gekrümmten Teil 28 aus über die Enden der Flügel des Rotors 10 hinauserstrecken. Die Flügel 52 und 54 des Starterrotors können in der in der Zeichnung dargestellten Form ausgebildet sein oder aber sie können eine veränderbare Dicke in einer Stromlinienform besitzen, um einen erhöhten Wirkungsgrad zu erzeugen. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und infolge der Tatsache, daß die zusätzliche aerodynamische Leistungsfähigkeit nicht wesentlich größer sein wird, um zusätzliche Herstellungskosten zweckmäßig zu machen, bestehen die Flügel 52 und 54 vorzugsweise aus Metallblech, wobei die Flügelkammer

609815/0367

oder der hohle Teil ein Segment eines Bogens mit konstantem Radius bildet. Die Flügel des oberen Starterrotors 14 sind in der in Fig. 2 gezeigten Weise angeordnet, so daß sie außer Phase mit den Flügeln des unteren Starterrotors 16 sind, d.h. sie sind parallelgeschaltet (Interdigitation) oder senkrecht bezüglich einander, so daß die Windturbine durch aus irgendeiner Richtung kommenden Wind selbststartend ist, und so daß das durch die Starterrotoren erzeugte Startdrehmoment geglättet wird. Andere Bauarten von Starterrotoren, wie beispielsweise bestimmte Rotoren der Schleppbauart, können mit geringeren Gesamtwirkungsgraden und geringerer Antriebskraft verwendet werden, wie beispielsweise die in Fig. 8 gezeigte Bauart, welche drei in geeigneter Weise mit Welle 12 verbundene Tröge 62a, 62b und 62c verwendet.

Die mit der gemeinsamen Welle 12 verbundenen entsprechenden Rotoren 10, 14 und 16 können in einem Wind bis zu einer Geschwindigkeit von dem Drei- bis Vierfachen des Windes durch die richtige Proportionierung von Größe und Radius der Starterrotoren und des Leistungsrotors, wie oben beschrieben, verdreht werden. Die Starterrotoren sind ohne irgendwelches externes Anlegen von Leistung (abgesehen vom Wind) selbststartend und regulieren automatisch die richtige Stromlinienteilstartgeschwindigkeit als eine Funktion irgendeiner Windgeschwindigkeit innerhalb des Betriebsbereichs und der Grenzen der Turbine. Der Starterrotor kann selbst bei der Betriebsgeschwindigkeit des Leistungsrotors weiterhin eine Antriebsleistung erzeugen, ohne die Arbeitsweise des Leistungsrotors zu vermindern. Bei der oben beschriebenen Flügelkonstruktion sind die in dem Flügel erzeugten Kräfte im wesentlichen Zugkräfte, die ohne weiteres im System absorbiert werden. Der Verbraucher 24 kann dann zur Erzeugung der gewünschten Leistung, Energie oder des gewünschten Betriebs verwendet werden, und zwar aus der Drehung der Windturbine in einer

einen hohen Wirkungsgrad aufweisenden einfachen und billigen Weise.

Wenn man ein erhöhtes Antriebsdrehmoment, allerdings mit etwas höheren Zugbeanspruchungen, erzeugen will, so können die Flügel des Rotors 10 dadurch abgewandelt werden, daß man geeignete Massen- oder Gewichtsglieder an der Verbindung zwischen den geradlinigen Segmenten und dem Kurventeil des Flügels vorsieht, wie dies beispielsweise durch die Gewichtsglieder 64 und 66 in Fig. 9 dargestellt ist. Diese Massen werden das Bestreben haben, den Bogen des gekrümmten Teils der Flügel der Troposkienart gerader zu machen und zu ändern, und zwar in eine neue Bogenform oder einen gekrümmten Teil 28a, der die Überstreichungsfläche der Schaufeln des Rotors 10 erhöht. Anders ausgedrückt, verläuft der stromlinienförmige Teil der Flügel mehr in Vertikalrichtung und somit wird ein größerer durchschnittlicher Radius von der Rotorwelle zum Antriebsteil des Leistungsflügels und eine größere Flügelüberstreichungsfläche erzeugt. Da der Flügelkrümmungsteil noch immer die Form eines Bogens besitzt, werden die Beanspruchungen innerhalb des gekrümmten Teils noch immer Zugkräfte sein, können aber eine höhere Festigkeit aufsende Verbindung zwischen dem Kurventeil 28a und den geraden Segmenten des Flügels erforderlich machen.

Die Flügel des Rotors 10 können ferner durch Anbringen von Spitzenplatten mit größerer Abmessung als der Flügelquerschnitt an der Verbindung zwischen dem gekrümmten Teil 28 und den geraden Segmenten 30 und 32 der Leistungsflügel des Rotors 10 abgewandelt werden. Diese Spitzenplatten sind am wirkungsvollsten dann, wenn die Angriffswinkel hoch sind, um das effektive Seitenverhältnis (Verhältnis aus Flügellänge zu Flügelsehenlänge) des stromlinienförmigen Teils des Flügels groß sind, und zwar durch Verhinderung des "Überlaufens" der einen höheren Druck aufweisenden Luft

an der Innenseite des stromlinienförmigen Teils um das Ende des stromlinienförmigen Teils herum in die Niederdruckseite hinein. Die Spitzenplatten können senkrecht zum Flügel, wie in Fig. 10a durch Spitze 68a dargestellt, oder senkrecht zur Vertikalachse oder Welle 12 der Turbine, wie durch Spitze 68b in Fig. 10b dargestellt, befestigt sein. Bei der letztgenannten Konstruktion würde die Spitzenplatte 68b die Interferenz mit der Luftströmung über den Flügel selbst minimieren und würde nicht entgegen dem Luftstrom bei der Drehgeschwindigkeit des Rotors 10 zu rotieren haben.

Da die Herstellungskosten einer Windturbine der beschriebenen Art beträchtlich mit der Größe der Windturbine ansteigen können und da die Windgeschwindigkeiten oftmals mit steigendem Abstand gegenüber dem Erdboden ansteigen, kann es zweckmäßig sein, Windturbinen übereinandergestapelt auf einer gemeinsamen Welle 72 anzuordnen, wie dies in Fig. 11 durch die Turbinen 70a und 70b angedeutet ist. Wegen dieses Anstiegs der Windgeschwindigkeit mit der Höhe kann es auch zweckmäßig sein, daß die obere Windturbine 70b mit einem größeren Durchmesser versehen ist als die unteren Turbinen, um eine wirkungsvollere Ausnutzung der Windenergie vorzusehen. Die Turbinen 70a und 70b (und zusätzliche darüber gestapelte Turbinen) und ihre gemeinsame Welle 72 können in geeigneter Weise auf der Erde gehalten sein, und zwar mit geeigneten Verspannungen und Kragenanordnungen 74a und 74b an Zwischenstellen und den oberen Stellen der Turbinen. Die Turbinen können auf diese Weise derart angeordnet werden, daß sie wenig Platz auf der Erde benötigen und ohne daß irgendeine Windinterferenz zwischen den Turbinen auftritt. Es sei bemerkt, daß diese Turbinen mit einem oder mehreren ähnlichen Starterrotoren, wie oben beschrieben, ausgestattet sein können.

2540757

Um die erfindungsgemäßen Windturbinen gegenüber übermäßigen Winden zu schützen, können die Turbinen mit demontierbaren oder faltbaren Verbindungen oder Befestigungselementen an der Verbindung zwischen den gekrümmten Teilen und den geradlinigen Segmenten der Flügel und zwischen den Flügeln und der Welle 12 derart ausgestattet sein, daß die Flügel zusammengefaltet oder zusammengelegt werden können, um einen wesentlich kleineren Durchmesser einzunehmen, der einen beträchtlich geringeren Windwiderstand besitzt, und wobei die Flügel, wenn gewünscht, in geeigneter Weise abgedeckt werden können. Wenn beispielsweise die Flügel des Rotors 10 in der in Fig. 12 gezeigten Weise mit einem angelartigen Verbindungsstück zwischen einem jeden der oberen geradlinigen Flügelsegmente 30' und 30'' und den gekrümmten Teilen 28' und 28'' und zwischen den unteren geradlinigen Segmenten 32' und 32'' und der Vertikalwelle 12' ausgestattet sind, und wenn die unteren geradlinigen Segmente vom gekrümmten Teil demontierbar sind, können die unteren geradlinigen Segmente vom gekrümmten Teil des Flügels abgenommen und gegen die Welle gelegt werden, während das obere geradlinige Segment und der gekrümmte Teil gegen die Welle verschwenkt und in geeigneter Weise daran befestigt oder festgebunden ist. Man erkennt, daß das Windprofil der Turbine auf diese Weise drastisch vermindert wird.

Die erfindungsgemäße Windturbine hat einen verhältnismäßig einfachen Aufbau, sie ist selbststartend und sie erzeugt ein hohes Verhältnis von Flügelspitzen-Geschwindigkeit zu Windgeschwindigkeit. Ferner hat die erfindungsgemäße, eine Vertikalachse aufweisende Windturbine eine leicht herzustellende Vertikalrotorflügelkonstruktion mit hohem Wirkungsgrad.

609815/0367

A N S P R Ü C H E

1. Windturbine mit einer drehbaren Welle, einem Antriebsrotor mit einem länglichen Flügel, der ein mittleres gekrümmtes Teil von stromlinienförmiger Gestalt quer zur Krümmung aufweist, und wobei Mittel zur Halterung des Flügels an der genannten Welle derart vorgesehen sind, daß die Stromlinienform längs der Bewegungsbahn des Flügels ausgerichtet ist, um eine signifikante Antriebskraft auf die Welle auszuüben, wenn der gekrümmte Flügelteil ein Verhältnis aus Lineargeschwindigkeit zu Windgeschwindigkeit von größer als ungefähr 3 erreicht, und wobei Mittel zur Ausnutzung der Drehbewegung der Welle mit der Welle gekuppelt sind, gekennzeichnet durch Starterrotormittel (beispielsweise 14, 16) angeordnet an der Welle (12) mit Flügeln, die sich außer Ausrichtung mit dem gekrümmten Teil des Antriebsrotors befinden, um die Welle auf das erwähnte Geschwindigkeitsverhältnis zu beschleunigen.
2. Turbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Antriebsrotor eine Vielzahl dieser Flügel enthält, von denen jeder einen zentralen nach aussen gekrümmten Teil mit stromlinienförmiger Gestalt aufweist.
3. Turbine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die gekrümmten Teile der Flügel bogenförmig ausgebildet sind und einen Teil einer Tropfenform annähern.
4. Turbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Flügeltragmittel im wesentlichen geradlinige Flügelsegmente aufweisen, welche zwischeneinander den gekrümmten Teil mit Stromlinienform tragen.

2540757

5. Turbine nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch Mittel zum Trennen der Enden des gekrümmten Teils des Flügels gegenüber den Flügelsegmenten.
6. Turbine nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch Spitzen-Plattenspoilers an jedem Ende des gekrümmten Teils des Flügels.
7. Turbine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Spitzen-Plattenspoilers im ganzen senkrecht zur Welle verlaufen.
8. Turbine nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch Gewichte (64, 66) an jedem Ende des gekrümmten Teils des Flügels.
9. Turbine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der gekrümmte Teil des Flügels einen hochfesten länglichen Streifen in der Mitte des gekrümmten Teils aufweist, und daß ein Schaumkern um den Streifen mit Stromlinienform herum angeordnet ist, und daß darüber eine äußere im wesentlichen undurchdringliche Haut vorgesehen ist.
10. Turbine nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Streifen in bogenförmige Gestalt gebogen ist, und daß der Schaum innere und äußere stromlinienförmige Segmente aufweist, die miteinander und mit dem Streifen auf beiden Seiten des Streifens verbunden bzw. angeklebt sind und daß die Aussenoberfläche der Schaumsegmente mit der erwähnten undurchlässigen Haut überzogen sind.
11. Turbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Geschwindigkeitsverhältnis einen Wert von ungefähr 5 bis 7 besitzt.
12. Turbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Welle im ganzen vertikal verläuft und die Starterrotor-mittel einen ersten selbststartenden Rotor oberhalb des gekrümmten Teils und einen zweiten selbststartenden

609815/0367

2540757

Rotor unterhalb des gekrümmten Teils aufweisen, wobei jeder der selbststartenden Rotoren eine Vielzahl von hohl ausgeformten Flügeln aufweist, die in entgegengesetzte Richtungen zueinander weisen, und wobei Mittel zur Halterung dieser Flügel auf der Welle vorgesehen sind derart, daß sich die Flügel teilweise miteinander in einer im ganzen S-förmigen Art überlappen, um den durch den hohlen Teil des einen Flügels eingefangenen Wind in den hohlen Teil von mindestens einem weiteren Flügel in jedem Rotor zu leiten.

13. Turbine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Aussenradien der selbststartenden Rotoren kleiner sind als die Aussenradien des Antriebsrotors.
14. Turbine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Radien ein Zahlenwert von ungefähr 5 bis 6 zu 1 ist und bei der Drehung der Turbine bei und oberhalb dieses Geschwindigkeitsverhältnisses unterstützt.
15. Turbine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Flügel der selbststartenden Rotoren bezüglich einander ineinandergreifend angeordnet sind.
16. Turbine nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Antriebsrotoren, die übereinander auf der Welle angeordnet sind, wobei jeder darauffolgende Antriebsrotor einen Durchmesser besitzt, der größer ist als der nächstbenachbarte niedrigere Rotor.



